

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

624/6

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)25.06.2020.

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације
и о одређивању ментора**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

„КВАЛИТАТИВНА ИДЕНТИФИКАЦИЈА ГАСОВИТИХ ПРОДУКАТА
ТЕРМОХЕМИЈСКЕ КОНВЕРЗИЈЕ БИОМАСЕ ПРИМЕНОМ СИМУЛТАНЕ ТЕРМАЛНЕ АНАЛИЗЕ И
МАСЕНЕ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ (QUALITATIVE IDENTIFICATION OF GASEOUS PRODUCTS
DURING BIOMASS THERMOCHEMICAL CONVERSION PROCESSES USING SIMULTANEOUS
THERMAL ANALYSIS AND MASS SPECTROMETRY)“

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Технологија материјала -
погонски материјали и
сагоревање

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
МИЛОШ (БРАНКО) РАДОЈЕВИЋ

2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд – Машинско
инжењерство, мастер академске студије

3. Година завршетка
претходног нивоа студија: 2016.

4. Година уписа на докторске студије:
2016.

5. Назив студијског програма Машинско инжењерство
докторских студија: _____

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: _____ Небојша Манић _____

Звање: _____ Ванредни професор _____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. (M 21) Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu: Nebojša Manić, Bojan Janković, Milena Pijović, Hadi Waisi, Vladimir Dodevski, Dragoslava Stojiljković, Vladimir Jovanović, Apricot kernel shells pyrolysis controlled by non-isothermal simultaneous thermal analysis (STA), Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, (2020) 1-15, ISSN: 1588-2926, IF (2018) 2,471 [16/60]
2. (M 21a) Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti: Marta Trinić, Dragoslava Stojiljković, Nebojša Manić, Øyvind Skreiberg, Liang Wang, Aleksandar Jovović, A mathematical model of biomass downdraft gasification with an integrated pyrolysis model, Fuel, Vol. 265, 116867265 (2020) 116867, ISSN: 0016-2361, IF (2018) 5,128 [13/138]
3. (M 21) Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu: Nebojša Manić, Bojan Janković, Hadi Waisi, Dragoslava Stojiljković, Miloš Radojević, Advanced Distributed Reactivity Model for the Static Pyrolysis of Corn Stover Feedstock, Match: Communications in Mathematical and in Computer Chemistry, 84 (2020) 85-130, ISSN: 0340-6253, IF (2018) 2,126 [29/105]
4. (M 22) Rad u istaknutom međunarodnom časopisu: Miloš Radojević, Bojan Janković, Vladimir Jovanović, Dragoslava Stojiljković, Nebojša Manić, Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure, PLOS ONE, 13(10) (2018) PLoS ONE 13(10): e0206657, ISSN: 1932-6203, IF (2018) 2.776 [24/69]
5. (M 21a) Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti: Bojan Janković, Nebojša Manić, Dragoslava Stojiljković, Vladimir Jovanović, TSA-MS characterization and kinetic study of the pyrolysis process of various types of biomass based on the Gaussian multi-peak fitting and peak-to-peak approaches, Fuel, 234 (2018) 447–463, ISSN: 0016-2361, IF (2018) 5,128 [13/138];

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: _____ Бојан Јанковић _____

Звање: _____ Виши научни сарадник _____

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. (M 22) Rad u istaknutom međunarodnom časopisu: Miloš Radojević, Bojan Janković, Vladimir Jovanović, Dragoslava Stojiljković, Nebojša Manić, Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure, PLOS ONE, 13(10) (2018) PLoS ONE 13(10): e0206657, ISSN: 1932-6203, IF (2018) 2.776 [24/69]
2. (M 21) Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu: Nebojša Manić, Bojan Janković, Hadi Waisi, Dragoslava Stojiljković, Miloš Radojević, Advanced Distributed Reactivity Model for the Static Pyrolysis of Corn Stover Feedstock, Match: Communications in Mathematical and in Computer Chemistry, 84 (2020) 85-130, ISSN: 0340-6253, IF (2018) 2,126 [29/105]
3. (M 21a) Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti: Bojan Janković, Nebojša Manić, Vladimir Dodevski, Jasmina Popović, Jelena Rusmirović, Miloš Tošić, Characterization analysis of Poplar fluff pyrolysis products. Multi-component kinetic study, Fuel, 238 (2019) 111-128, ISSN: 0016-2361, IF (2018) 5,128 [13/138]
4. (M 21a) Rad u međunarodnom časopisu izuzetnih vrednosti: Bojan Janković, Nebojša Manić, Dragoslava Stojiljković, Vladimir Jovanović, TSA-MS characterization and kinetic study of the pyrolysis process of various types of biomass based on the Gaussian multi-peak fitting and peak-to-peak approaches, Fuel, 234 (2018) 447–463, ISSN: 0016-2361, IF (2018) 5,128 [13/138];
5. (M 21) Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu: Bojan Janković, Nebojša Manić, Dragoslava Stojiljković, The gaseous products characterization of the pyrolysis process of various agricultural residues using TGA–DSC–MS techniques, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 139 (2020) 3091-3106, ISSN: 1388-6150, IF (2018) 2,471 [16/60]

Обавештавамо вас да је

Наставно – научно веће

(назив надлежног тела факултета)

на седници одржаној _____ 25.06.2020. године _____ размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

- Прилог
1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
 2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и у једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -

Број: 624/6

Датум: 25.06.2020. године

Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Милоша Радојевића**, магист. инж. маш., бр. 624/1 од 18.05.2020. године да му се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Драгослава Стојиљковић, ред. проф., др Владимир Јовановић, доц. и др Љиљана Медић Пејић, ред. проф., Polytechnic University of Madrid (UPM), Department for Energy and Fuels, Madrid, Spain број 624/5 од 23.06.2020. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета (број 1450/4 од 14.06.2018. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 25.06.2020. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **Милош Радојевић**, магист. инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«КВАЛИТАТИВНА ИДЕНТИФИКАЦИЈА ГАСОВИТИХ ПРОДУКАТА ТЕРМОХЕМИЈСКЕ КОНВЕРЗИЈЕ БИОМАСЕ ПРИМЕНОМ СИМУЛТАНЕ ТЕРМАЛНЕ АНАЛИЗЕ И МАСЕНЕ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ (QUALITATIVE IDENTIFICATION OF GASEOUS PRODUCTS DURING BIOMASS THERMOCHEMICAL CONVERSION PROCESSES USING SIMULTANEOUS THERMAL ANALYSIS AND MASS SPECTROMETRY)»**.

Одлуком ННВ број 624/3, од 04.06.2020. године за менторе докторске дисертације Милоша Радојевића, магист. инж. маш. именовани су **др Небојша Манић, ванр. проф. и др Бојан Јанковић, виши научни сарадник, ИНН Винча**

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата за израду докторске дисертације студента докторских студија Милоша Б. Радојевића

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Београду број 624/3 од 04.06.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Милоша Б. Радојевића**, студента Докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме:

„Квалитативна идентификација гасовитих продуката термохемијске конверзије биомасе применом симултане термалне анализе и масене спектрометрије”

„Qualitative identification of gaseous products during biomass thermochemical conversion processes using simultaneous thermal analysis and mass spectrometry”

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1.1. Биографски подаци

Милош Радојевић рођен је 27.09.1992. године у Београду. Основне академске студије завршио је на Машинском факултету Универзитета у Београду 2014. године са просечном оценом 9,71, а мастер академске студије 2016. године у истој високошколској установи, са просечном оценом 9,45. Мастер студије завршио је на модулу за Термотехнику, одбравивши мастер рад под називом „Експериментална испитивања пећи мале снаге за сагоревање пелета од биомасе” под менторством доцента др Небојше Манића. Докторске академске студије на Машинском факултету уписује 2016. године на Катедри за технологију материјала, у оквиру Лабораторије за горива и сагоревања, а под потенцијалним менторством др Небојше Манића.

Од априла 2017. до априла 2018. године стипендиста је Министарства просвете, науке и технолошког развоја на основу ангажовања на пројекту ИИИ42010 – Смањење аерозагађења из термоелектрана у ЈП Електропривреда Србије. На Универзитету у Београду-Машинском факултету запослен је од 10.04.2018. године.

Испите на докторским студијама завршава у предвиђеном року од две године, чиме задржава финансирање докторских студија из буџета Републике Србије. При том, константно ради на експерименталним истраживањима везаним за израду докторске дисертације и пише научне радове како за међународне конференције и скупове, тако и за научне

часописе, у којима је или првоименовани или ко-аутор. С обзиром на мултидисциплинарност предмета истраживања током научно-истраживачког рада, успоставља сарадњу са др Бојаном Јанковићем, дипломираним физико-хемијарем, вишим научним сарадником Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду, који поред др Небојше Манића значајно доприноси фундаменталним објашњењима физичко-хемијских процеса који су анализирани и у том смислу доприноси формирању концепта докторске дисертације, услед чега постаје кандидат ко-ментор.

У сарадњи са ментором др Небојшом Манићем као и другим члановима Лабораторије за горива и сагоревање, кандидату је обезбеђено усавршавање у фабрици NETZSCH GmbH у Зелбу, Немачка, као и сарадња са Политехничким Универзитетом у Мадриду.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је уписао докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2016/2017. године. Током докторских студија положио је све предмете одређене наставним планом и програмом и успешно одбранио Пројекат идеје докторске дисертације пред три члана комисије. Тренутни статус кандидата у складу је са Законом о високом образовању Републике Србије. У складу са чланом 15. Правилника о докторским студијама Машинског факултета у Београду, кандидат **Милош Б. Радојевић** је остварио укупно 120 ЕСПБ бодова, чиме је испунио основни услов да пријави докторску дисертацију. Просечна оцена кандидата током докторских студија је 9,93 (девет и 93/100). У даљем тексту дата је табела у којој су наведени положени премети, предметни наставници, остварени ЕСПБ бодови и добијене оцене.

Број	Назив предмета	Предметни наставник	Семестар и ЕСПБ	Оцена
1.	Виши курс математике	Проф. др Слободан Радојевић	1/5	10 (десет)
2.	Нумеричке методе	Проф. др Миодраг Спалевић	1/5	10 (десет)
3.	ОМНИРИК	Проф. др Милош Недељковић	1/5	10 (десет)
4.	Горива и посебна поглавља из сагоревања	Проф. др Драгослава Стојиљковић	1/5	10 (десет)
5.	Истраживање и публикавање 1	Проф. др Небојша Манић	1/10	10 (десет)
6.	Одабрана поглавља из механике флуида	Проф. др Цветко Црнојевић	2/5	9 (девет)
7.	Процеси и постројења заштите животне средине	Проф. др Александар Јововић	2/5	10 (десет)
8.	Екологија сагоревања	Проф. др Драгослава Стојиљковић	2/5	10 (девет)
9.	Истраживање и публикавање 2	Проф. др Небојша Манић	2/15	10 (десет)
10.	Емисија из индустријских процеса	Проф. др Дејан Радић	3/5	10 (десет)
11.	Технике мерења у сагоревању	Проф. др Драгослава Стојиљковић	3/5	10 (десет)
12.	Истраживање и публикавање 3	Проф. др Небојша Манић	3/20	10 (десет)

13.	Истраживање и публиковање 4	Проф. др Небојша Манић	4/8	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације	Проф. др Драгослава Стојиљковић, др Небојша Манић, др Владимир Јовановић	4/22	10 (десет)

Кандидат је аутор је и коаутор више научно-стручних радова, од чега су 3 објављена у часописима М21 категорије и 3 објављена у часописима М22 и М23 категорије, док су остале публикације са међународних скупова објављене у изводима категорије М33 и М34, као и један рад у тематском зборнику од међународног значаја М14.

Од априла 2017. учесник је у изради пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја ИИИ42010 под називом “Смањење аерозагађења из термоелектрана у ЈП Електропривреда Србије”.

1.3 Списак објављених радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидата за рад на предложеној теми

Научни рад	Категорија*
Pijović, M., Janković, B., Stojiljković, D., Radojević, M. , & Manić, N. (2020). Thermo-Analytical Characterization of Various Biomass Feedstocks for Assessments of Light Gaseous Compounds and Solid Residues. Paper presented at the Computational and Experimental Approaches in Materials Science and Engineering, Cham. doi:10.1007/978-3-030-30853-7_9	M14
Radojević, M. , Janković, B., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure. PLOS ONE, 13(10). doi:10.1371/journal.pone.0206657	M21
Manić, N., Janković, B., Wasis, H., Stojiljković, D., & Radojević, M. (2020). Advanced Distributed Reactivity Model for the Static Pyrolysis of Corn Stover Feedstock. MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry.	M21
Janković, B., Manić, N., Dodevski, V., Radojević, M. , & Stojiljković, D. (2019). Kinetic study of oxy-combustion of plane tree (Platanus orientalis) seeds (PTS) in O ₂ /Ar atmosphere. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. doi:10.1007/s10973-019-09154-z	M21
Radojević, M. , Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2020). Improved TG-MS Measurements for Accurate Evolved Gas Analysis During Pyrolysis Process of Various Biomass Feedstock. Biomass and Bioenergy. <u>(UNDER REVIEW)</u>	M21
Manić, N., Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Radojević, M. (2019). TGA-DSC-MS analysis of pyrolysis process of various agricultural residues. Thermal Science, 23(Suppl. 5), 1457-1472. doi:10.2298/TSCI180118182M	M22

Janković, B., Radojević, M. , Balać, M., Stojiljković, D., & Manić, N. (2020 OnLine-First). Thermogravimetric study on the pyrolysis kinetic mechanism of waste biomass from fruit processing industry. Thermal Science(00), 191. doi:10.2298/TSCI200213191J	M22
Radojević, M. , Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. Hemijska Industrija, 72(2), 8. doi:10.2298/HEMIND171009002R	M23
Radojević, M. , Manić, N., Jovanović, V., & Stojiljković, D. (2017). Methodology and challenges of calibrating the instrument for simultaneous thermal analysis. Paper presented at the DEMI 2017 - 13th INTERNATIONAL Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering.	M33
Manić, N., Jovanović, V., Radojević, M. , & Stojiljković, D. (2017). Estimation of kinetic parameters for biomass thermochemical conversion using TGA. Paper presented at the Industrial energy and environmental protection in South Eastern European Countries - IEEP 2017, Zlatibor, Serbia.	M33
Manić, N., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Radojević, M. (2018). The assessment of spontaneous ignition potential of coals using TGA. Paper presented at the International Conference Power Plants, Zlatibor, Serbia.	M33
Radojević, M. , Stojiljković, D., Jovanović, V., Janković, B., & Manić, N. (2019). Identification of main components of biomass volatiles by STA-MS analysis. Paper presented at the Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries - IEEP 2019, Zlatibor, Serbia.	M33
Manić, N., Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., Radojević, M. , & Castells Somoza, B. (2019). Evaluation of spontaneous ignition potential for solid biomass through thermal analysis. Paper presented at the DEMI 2019 - 14th INTERNATIONAL Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka.	M33
Radojević, M. , Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2017). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. Paper presented at the International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies (CNN TECH 2017), Zlatibor, Serbia.	M34
Radojević, M. , Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2018b). Impact of STA device calibration on repeatability for biomass proximate analysis. Paper presented at the Forum on Smart Energy Carriers for Distributed Energy Production: Research and Innovation Technology Perspectives, University of Belgrade, Belgrade, Serbia.	M34
Radojević, M. , Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2018a). Comparison of experimental methods for characterization of raw biomass as a key factor for sustainable biomass utilization. Paper presented at the Humboldt Kolleg,	M34

„Sustainable Development and Climate Change: Connecting Research, Education, Policy and Practice”, Belgrade, Serbia.

Pijović, M., Janković, B., Stojiljković, D., **Radojević, M.**, & Manić, N. (2019). Thermoanalytical characterization of various biomass feedstocks for assessments of light gaseous compounds and solid residues. Paper presented at the International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies (CNN TECH 2019), Zlatibor, Serbia.

M34

* Према Правилнику о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије

Наведене референце показују да је кандидат овладао методама експерименталног испитивања горива применом термогравиметрије, као и евалуације добијених података у циљу прецизније карактеризације горива и оцене његове подобности за примену у енергетске сврхе, услед чега су одређивани и кинетички параметри термохемијских процеса конверзије. Поред тога, рад који је тренутно под ревизијом у врхунском међународном часопису *Biomass and Bioenergy*, примарно је усмерен ка гасној анализи горива при термохемијским процесима конверзије применом масене спектрометрије, где је представљен нови приступ анализе података, чиме се указује на способност кандидата да развије нову методологију и предложи нове концепте у области дисертације.

1.4 Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим истраживачким активностима кандидат **Милош Б. Рadojeвић** је испољио потребан квалитет, заинтересованост, способност и стручност за научни и истраживачки рад. Публиковани и изложени радови у часописима и на конференцијама указују на потенцијале кандидата да се бави како теоријским, тако и сложеним експерименталним истраживањима.

С обзиром да су досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидата суштински повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације, комисија сматра да кандидат има научно-стручну усмереност у области које покрива предложена тема.

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, његових научних и стручних активности, афинитета, исказаног интересовања, као и објављених радова, Комисија закључује да кандидат **Милош Б. Рadojeвић** испуњава потребне услове и да је оспособљен за успешан самостални теоријски и експериментални рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. ПРЕДМЕТ РАДА

Предмет докторске дисертације је анализа различитих термохемијских процеса конверзије, као што су пиролиза, гасификација и сагоревање, при коришћењу биомасе у

енергетске сврхе, употребом симултане термалне анализе и масене спектрометрије. Симултана термална анализа представља спој термогравиметрије и диференцијалне термалне анализе или динамичке диференцијалне калориметрије. Појединачна примена наведених метода позната је при испитивању угљева или, са друге стране, анализе хемикалија. Ипак, истовремена примена поменутих метода, а нарочито на примеру биомасе, је веома мало истражена област и тренутно представља једну од актуелних истраживачких области у домену истраживања могућности коришћења биомасе у енергетске сврхе. Такође, гасна анализа при конверзији биомасе коришћењем масене спектрометрије је прилично неистражена, а с обзиром на могућност да се у Лабораторији за горива и сагоревање Машинског факултета у Београду она врши упоредо уз симултану термалну анализу, отварају се могућности за формирање нових метода и анализа при карактеризацији горива. У циљу сагледавања што ширег опсега примене биомасе у енергетске сврхе или добијања биоматеријала, што заједно чини савремени концепт биорафинерије, током експерименталних испитивања биће коришћене дрвна и пољопривредна биомаса, као и органски део комуналног отада.

3. НАУЧНИ ЦИЉ РАДА

Основни циљ израде предложене докторске дисертације односи се на детаљну карактеризацију биомасе као горива на фундаменталном нивоу, која подразумева идентификацију и анализу гасовитих продуката процеса термичке разградње уз помоћ експерименталних метода симултане термалне анализе и масене спектрометрије. С обзиром да симултана термална анализа подразумева термогравиметријску анализу и диференцијалну термалну анализу које се врше истовремено на истом узорку чиме је омогућена детаљна анализа процеса термохемијске конверзије. Поред тога коришћењем термогравиметријске анализе могуће је одредити кинетичке параметре при термохемијској конверзији горива, као што су енергија активације и пред-експоненцијални фактор, применом различитих метода и модела. Такође, могуће је добити и податке техничке анализе у знатно краћем временском периоду у односу на стандардну методу уколико се процес одвија у одговарајућим условима (атмосфера, температура, брзина загревања). С обзиром да се применом термогравиметрије узорак загрева до коначне температуре мањим брзинама загревања ($1 - 50$ (150) $^{\circ}\text{C} / \text{min}$) од оних које се јављају у стварним условима рада, омогућено је описати фазе разлагања материјала односно структурално га дефинисати. Спознајом таквих детаља, односно прецизним одређивањем карактеристичних температура при термохемијској конверзији горива, даљим радом је могуће оптимизовати и индустријски процес у којем се испитивано гориво користи.

Са друге стране, масеном спектрометријом могу се добити експериментални подаци о процесу деволатилизације биомасе односно квалитативно идентификовати гасовите компоненте које чине волатиле, на основу чега је могуће одредити њихов састав и на тај начин формирати температурне профиле ослобађања појединих компоненти. Прегледом литературе установљено је да се идентификација гасова може значајно унапредити детаљнијом анализом сваког детектованог масеног броја. Теоријски, идентификоване гасове је могуће квантификовати, међутим, постоје различита техничко-технолошка ограничења у

формирању такве процедуре, што ће представљати посебан изазов при изради ове докторске дисертације.

4. ПОЛАЗНА ХИПОТЕЗА ИСТРАЖИВАЊА

Иако се испитивање угљева применом термогравиметрије врши већ неколико деценија, употреба симултане термалне анализе свакако отвара нове могућности за детаљнију анализу горива. Биомаса која је тренутно у фокусу, као гориво које би, свакако уз друге обновљиве изворе енергије, могла да делимично замени фосилна горива, веома је разнолика по својим карактеристикама, пре свега због свог порекла. Базе података са карактеристикама различитих типова биомасе и даље су у фази израде и допуне, што значи да и даље велики број истраживача различитим методама испитивања биомасе тежи да прикупи што шири спектар информација у циљу квалитетније карактеризације биомасе као горива. Иако постоје различите методе за карактеризацију горива, симултана термална анализа је свакако најновија и пружа најдетаљније резултате који се добијају захваљујући њеном прецизном раду коришћењем мале количине узорка (5 до 40 милиграма) у строго контролисаној атмосфери и при одређеном режиму загревања. На тај начин могуће је добити кључне податке о фундаменталним карактеристикама горива. Поред тога, примена масене спектрометрије на узорке биомасе је тема која до сада није детаљно истражена што даје простор за остваривање нових, до сада необјављених резултата, значајан. Масена спектрометрија је техника која је присутна већ неколико деценија, као и термогравиметрија, али је њена примена мање распрострањена, при чему је углавном ограничена на примену у хемијске сврхе. Спрезањем термогравиметрије и масене спектрометрије врши се симултано испитивање на истом узорку, чиме се подаци гасне анализе, временски и температурно, повезују са променом масе. Један од циљева овог истраживања је да се подаци добијени применом масене спектрометрије искористе приликом карактеризације горива, са циљем да се изврши оптимизација енергетских и еколошких карактеристика процеса термохемијске конверзије горива.

Испитивањем великог броја различитих узорака, биће прикупљени подаци који омогућавају да се успоставе одговарајуће законитости понашања за одређене типове биомасе. С обзиром на веома ограничен број података у овој области, а на основу прикупљених података, биће формирана база података која ће омогућити прилагођавање одговарајућих математичких модела типу коришћене биомасе и процесу термохемијске конверзије и тиме представљати значајан научни допринос.

У наставку се наводи литература која обухвата проблематику која је утицала на покретање истраживања предвиђених у овој докторској дисертацији:

[1] Carpenter, A. M., & Skorupska, N. M. (1993). Coal combustion: analysis and testing (Vol. 1). London, UK: IEA Coal Research

[2] Skreiberg, A., Skreiberg, Ø., Sandquist, J., & Sørum, L. (2011). TGA and macro-TGA characterisation of biomass fuels and fuel mixtures. *Fuel*, 90(6), 2182-2197. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.02.012>

[3] Bridgwater, A. V. (2013). *Advances in thermochemical biomass conversion*: Springer Science & Business Media.

- [4] Apaydin-Varol, E., Polat, S., & Putun, A. (2014). Pyrolysis kinetics and thermal decomposition behavior of polycarbonate - a TGA-FTIR study. *Thermal Science*, 18, 833-842. doi:10.2298/TSCI1403833A
- [5] Deb, P. (2014). *Kinetics of heterogeneous solid state processes*: Springer, New Delhi.
- [6] Burnham, A. K. (2017). *Global Chemical Kinetics of Fossil Fuels*: Springer International Publishing.
- [7] Vyazovkin, S., & Wight, C. A. (1998). Isothermal and non-isothermal kinetics of thermally stimulated reactions of solids. *International Reviews in Physical Chemistry*, 17(3), 407-433. doi:10.1080/014423598230108
- [8] Vyazovkin, S., Burnham, A. K., Favregeon, L., Koga, N., Moukhina, E., Pérez-Maqueda, L. A., & Sbirrazzuoli, N. (2020). ICTAC Kinetics Committee recommendations for analysis of multi-step kinetics. *Thermochimica Acta*, 689, 178597. doi:https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178597
- [9] Radojević, M., Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., Manić, N. (2018). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. *Hemijska Industrija*, 72(2).
- [10] Radojević, M., Janković, B., Jovanović, V., Stojiljković, D., Manić, N. (2018). Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure. *PLOS ONE*. 13(10).
- [11] de Hoffmann, E., & Stroobant, V. (2007). *Mass spectrometry: principles and applications* (3 ed.). Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.
- [12] Greaves, J., & Roboz, J. (2013). *Mass spectrometry for the novice*: CRC Press.
- [13] Gross, J. H. (2017). *Mass Spectrometry: A Textbook* (3 ed.): Springer International Publishing.
- [14] Thompson, J. M. (2018). *Mass Spectrometry*: New York: Jenny Stanford Publishing.
- [15] Smoluch, M., Grasso, G., Suder, P., & Silberring, J. (2019). *Mass Spectrometry: An Applied Approach*: John Wiley & Sons.
- [16] Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., & Saxioni, S. (2015). Evaluation of urban wastes as promising co-fuels for energy production – A TG/MS study. *Fuel*, 147, 170-183. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.01.070
- [17] Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., Pazara, E., & Panopoulos, K. (2016). Kinetic modeling of five sustainable energy crops as potential sources of bioenergy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(12), 1812-1818. doi:10.1080/15567036.2014.1002949
- [18] Salema, A. A., Ting, R. M. W., & Shang, Y. K. (2019). Pyrolysis of blend (oil palm biomass and sawdust) biomass using TG-MS. *Bioresource Technology*, 274, 439-446. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.014

У литератури [1] сумиране су експерименталне методе испитивања угља као чврстог горива, међу којима је и термална анализа. Општи принципи испитивања и приказана методологија представљали су основ за почетак развоја метода за испитивање биомасе. Проширивање методологије уследило је применом литературе [2] и радова из зборника [3], што је

омогућило почетак истраживања хемијске кинетике процеса термалног разлагања биомасе. У раду [4] сумиране су најчешће коришћене методе за процену и добијање кинетичких параметара термохемијских процеса конверзије биомасе, док су оне проширене у литератури [5] и [6]. Аутори из референци [7] и [8] бавили су се развојем сопствене методологије, што је утицало на прилагођавање постојећих експерименталних процедура и кинетичких метода у циљу испитивања биомасе у Лабораторији за горива и сагоревање. На основу усвојене методологије, објављени су радови [9] и [10]. Након прилагођавања експерименталних метода уређаја за симултану термалну анализу, фокус истраживања се проширује на масену спектрометрију. На почетку изучавања, кључне информације добијене су из [11-15] у којима је детаљно описана проблематика масене спектрометрије, принципи рада масеног спектрометра и других система у оквиру њега. Научни радови [16-18] баве се анализом резултата масене спектрометрије, али недовољно прилагођено потребама истраживања у оквиру ове докторске дисертације. Услед тога, уочен је простор за проширење методологије и предлога новог приступа при анализи експерименталних података добијених масеном спектрометријом.

5. НАУЧНЕ МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

За потребе истраживачког рада користиће се опрема произвођача NETZSCH, тачније симултани термални анализатор STA449F5 Jupiter® и масени спектрометар QMS403D Aëolos који су повезани кварцном капиларом пречника 76 μm . Силикон-карбидна пећ унутар симултаног термалног анализатора може се загревати брзином од 0,001 до 50 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, а максимално до температуре од 1600 $^{\circ}\text{C}$. У зависности од типа мерења, користиће се различити носачи узорка: TG-DTA, за симултану анализу термогравиметрије и диференцијалне термалне анализе и TG-DSC, за симултану анализу термогравиметрије и динамичке диференцијалне калориметрије. Посуде у које се поставља узорак израђене су од алуминијум оксида (Al_2O_3), а атмосфера у којој ће се одвијати мерења биће мењана у складу са потребама експеримента - од инертне до потпуно оксидационе и то коришћењем различитих гасова (азот, кисеоник, синтетички ваздух и аргон).

Масени спектрометар може да скенира моларне масе у распону од 0 – 300 аму (атомских масених јединица). Ипак, за потребе експеримента, максимална скенирана маса неће прелазити 100 m/z (однос масе и наелектрисања атома или молекула детектоване материје), с обзиром да се изнад те вредности јављају фрагменти органских компоненти, а који због недовољне количине и осетљивости не би могли да буду детектовани, већ би се видели само као шум сигнала. Од типова мерења коришћени су MID и Bargraph. Капилара која повезује QMS403D и STA449F5 постављена је унутар грејане цеви, која се стално одржава на 270 $^{\circ}\text{C}$ како би се спречила кондензација компоненти које се ослобађају током мерења и уводе у масени спектрометар.

Добијени резултати биће обрађивани помоћу Proteus® софтвера обезбеђеног од стране произвођача, али и сопствених програма развијених у Лабораторији за горива и сагоревање.

6. ОЧЕКИВАНИ РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА И НАУЧНИ ДОПРИНОС

- Развој нове лабораторијске методе за испитивање биомасе применом симултане термалне анализе. Нова метода омогућиће прилагођавање параметара уређаја оваквом типу мерења у циљу добијања прецизних резултата (у сарадњи са произвођачем).
- Прилагођавање постојећих модела за одређивање кинетичких параметара термохемијских процеса конверзије биомасе;

- Успостављање методологије за анализу гасова при термохемијској конверзији биомасе применом масене спектрометрије тј. идентификација и делимична квантификација ослобођених гасова.

7. ПЛАН ИСТРАЖИВАЊА И СТРУКТУРА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

План истраживања у оквиру теме докторске дисертације састоји се из следећих фаза:

- Преглед и анализа радова у референтној области;
- Преглед и систематизација постојећег стања истраживања у области симултане термалне анализе и масене спектрометрије;
- Анализа система за симултану термалну анализу и оптимизација постојећег система за сврху испитивања биомасе;
- Анализа система за масену спектрометрију и оптимизација постојећег система за сврху испитивања биомасе;
- Одређивање кинетичких параметара термохемијских процеса конверзије биомасе у циљу детаљније карактеризације горива, на основу података добијених симултаном анализом, као и термалних ефеката везаних за динамичку диференцијалну калориметрију;
- Формирање модела за делимичну квантификацију гасова применом масене спектрометрије.

8. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Анализом пријаве теме кандидата **Милоша Б. Радојевића**, маг. инж. маш., Комисија за оцену подобности и научне заснованости теме закључује да је предложена тема изузетно актуелна и одговарајућа за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све предвиђене услове прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета, при чему поседује истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду све наведено, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да се кандидату **Милошу Б. Радојевићу**, маг. инж. маш. студенту Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, одобри израда докторске дисертације под називом:

„Квалитативна идентификација гасовитих продуката термохемијске конверзије биомасе применом симултане термалне анализе и масене спектрометрије“.

Тема припада области техничких наука – машинство, ужој научној области – технологија материјала - погонски материјали и сагоревање, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. За ментора ове докторске дисертације предлажу се др Небојша Манић, дипл. инж. маш., ванредни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и др Бојан Јанковић, дипл. физ. хем., виши научни сарадник Института за нуклеарне науке „Винча“ Универзитета у Београду.

Београд, 22.06.2020.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Драгослава Стојиљковић, редовни професор

др Владимир Јовановић, доцент

др Љиљана Медич Пејић, Polytechnic University
of Madrid (UPM), Department for Energy and Fuels,
Madrid, Spain

To:

COUNCIL FOR DOCTORAL STUDIES

Subject: Evaluation of scientific soundness of the doctoral dissertation topic and eligibility of the Candidate Miloš Radojević, Ph.D. student

By decision no. 624/3 of Educational and Scientific Council of the Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, made on 04.06.2020, we were appointed for the members of the Committee for evaluation of eligibility the candidate and scientific soundness of the topic of the doctoral dissertation of Miloš Radojević (hereinafter the Candidate), a PhD student at Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade. The proposed topic of the doctoral dissertation is:

Qualitative identification of gaseous products during biomass thermochemical conversion processes using simultaneous thermal analysis and mass spectrometry

Квалитативна идентификација гасовитих продуката термохемијске конверзије биомасе применом симултане термалне анализе и масене спектрометрије

Based on the material enclosed with the Candidate's Request, the Committee submits the following

R E P O R T

1. PRINCIPAL INFORMATION ABOUT THE CANDIDATE

1.1. Biographical data

Miloš Radojević was born on 27th of September 1992 in Belgrade. The Candidate has completed Bachelor studies at University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering in 2014, with average grade of 9,71, while Master's Degree was completed at the same institution in 2016 in the field of Thermotechnics, with average grade of 9,45. M.Sc. thesis entitled "Experimental investigation of wood biomass pellet combustion in small scale stove", was mentored by assistant professor Nebojša Manić. The Candidate enrolled Ph.D. studies in 2016. in Department for Engineering Materials and Welding, Tribology, Fuels and Combustion, mentored again by assistant professor Nebojša Manić.

From 04.2017. to 04.2018. the Candidate was granted the scholarship financed by Ministry of education, science and technological development, based on his involvement in project III42010 – Pollution Reduction from Thermal Power Plants of the Public Enterprise "Electric Power Industry of Serbia". He has been employed by University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering since 10.04.2018.

During Ph.D. studies, the Candidate has finished all exams in time, which ensured him financing of his studies from the budget of Republic of Serbia. Meanwhile, he has been constantly involved in experimental research related to his Ph.D. thesis and he co-authored many scientific papers, which have been either presented and published in conference proceedings or scientific journals. Considering the fact that thesis subject requires multidisciplinary approach, he has established close cooperation with Bojan Janković, Ph.D. Physical Chemistry, who is employee of University of Belgrade, Institute of Nuclear Sciences “Vinča”. Nebojša Manić and Bojan Janković made significant contribution to Candidate’s work especially by fundamental explanations of analyzed physicochemical processes and therefore contributed to forming the concept of Candidate’s thesis, after which he eventually became Candidate’s co-mentor.

In collaboration with primary mentor Nebojša Manić and other members of Fuel and Combustion Laboratory, Candidate was granted with special training and specialization in Netzsch Headquarters, located in Selb, Germany and with collaboration with Polytechnic University of Madrid (UPM).

1.2. Acquired experience necessary for scientific research

The Candidate enrolled the Ph.D. degree studies at Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, in November 2016. The status of the Candidate is in agreement with the Law on higher education of the Republic of Serbia. In course of the doctoral studies, the Candidate has so far obtained 120 ECTS passing all the exams with the average mark 9,93. The list of the courses taken by the Candidate is given below.

No.	Course	Professor	Semester / ECTS	Mark
1.	Advanced course in mathematics	Slobodan Radojević	1/5	10 (ten)
2.	Numerical methods	Miodrag Spalević	1/5	10 (ten)
3.	Organization and methods of scientific research and communication	Miloš Nedeljković	1/5	10 (ten)
4.	Fuels and selected topics in combustion	Dragoslava Stojiljković	1/5	10 (ten)
5.	Research and publication – I	Nebojša Manić	1/10	10 (ten)
6.	Selected chapters in fluid mechanics	Cvetko Crnojević	2/5	9 (nine)
7.	Regimes and energy efficiency of thermal power plants	Aleksandar Jovović	2/5	10 (ten)
8.	Environmental aspects of combustion	Dragoslava Stojiljković	2/5	10 (ten)
9.	Research and publication – II	Nebojša Manić	2/15	10 (ten)
10.	Principles and concepts of industrial air pollution	Dejan Radić	3/5	10 (ten)
11.	Measurement techniques in combustion	Dragoslava Stojiljković	3/5	10 (ten)
12.	Research and publication – III	Nebojša Manić	3/20	10 (ten)
13.	Research and publication – IV	Nebojša Manić	4/8	10 (ten)

14.	Elaboration of Ph.D. thesis proposal	Dragoslava Stojiljković, Nebojša Manić, Vladimir Jovanović	4/22	10 (ten)
-----	--------------------------------------	--	------	----------

Candidate has co-authored numerous scientific papers, either at international scientific conferences and in scientific journals, where most of journals are categorized as Q1 and Q2.

As of April 2017, Miloš Radojević has been engaged in the Technology Development Program of Serbian Ministry of Education, Science and Technology Development project “Pollution Reduction from Thermal Power Plants of the Public Enterprise Electric Power Industry of Serbia”, project no. III42010. The research made for the purpose of the doctoral dissertation was partly funded through this project.

1.3 Scientific publications

Scientific publication	Category*
Pijović, M., Janković, B., Stojiljković, D., Radojević, M. , & Manić, N. (2020). Thermo-Analytical Characterization of Various Biomass Feedstocks for Assessments of Light Gaseous Compounds and Solid Residues. Paper presented at the Computational and Experimental Approaches in Materials Science and Engineering, Cham. doi:10.1007/978-3-030-30853-7_9	M14
Radojević, M. , Janković, B., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure. PLOS ONE, 13(10). doi:10.1371/journal.pone.0206657	M21
Manić, N., Janković, B., Wasis, H., Stojiljković, D., & Radojević, M. (2020). Advanced Distributed Reactivity Model for the Static Pyrolysis of Corn Stover Feedstock. MATCH Communications in Mathematical and in Computer Chemistry.	M21
Janković, B., Manić, N., Dodevski, V., Radojević, M. , & Stojiljković, D. (2019). Kinetic study of oxy-combustion of plane tree (<i>Platanus orientalis</i>) seeds (PTS) in O ₂ /Ar atmosphere. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. doi:10.1007/s10973-019-09154-z	M21
Radojević, M. , Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2020). Improved TG-MS Measurements for Accurate Evolved Gas Analysis During Pyrolysis Process of Various Biomass Feedstock. Biomass and Bioenergy. (UNDER REVIEW)	M21
Manić, N., Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Radojević, M. (2019). TGA-DSC-MS analysis of pyrolysis process of various agricultural residues. Thermal Science, 23(Suppl. 5), 1457-1472. doi:10.2298/TSCI180118182M	M22
Janković, B., Radojević, M. , Balać, M., Stojiljković, D., & Manić, N. (2020 OnLine-First). Thermogravimetric study on the pyrolysis kinetic mechanism of waste biomass from fruit processing industry. Thermal Science(00), 191. doi:10.2298/TSCI200213191J	M22

Radojević, M., Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. <i>Hemijska Industrija</i>, 72(2), 8. doi:10.2298/HEMIND171009002R	M23
Radojević, M., Manić, N., Jovanović, V., & Stojiljković, D. (2017). Methodology and challenges of calibrating the instrument for simultaneous thermal analysis. Paper presented at the DEMI 2017 - 13th INTERNATIONAL Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering, University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering.	M33
Manić, N., Jovanović, V., Radojević, M., & Stojiljković, D. (2017). Estimation of kinetic parameters for biomass thermochemical conversion using TGA. Paper presented at the Industrial energy and environmental protection in South Eastern European Countries - IEEP 2017, Zlatibor, Serbia.	M33
Manić, N., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Radojević, M. (2018). The assessment of spontaneous ignition potential of coals using TGA. Paper presented at the International Conference Power Plants, Zlatibor, Serbia.	M33
Radojević, M., Stojiljković, D., Jovanović, V., Janković, B., & Manić, N. (2019). Identification of main components of biomass volatiles by STA-MS analysis. Paper presented at the Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries - IEEP 2019, Zlatibor, Serbia.	M33
Manić, N., Janković, B., Stojiljković, D., Jovanović, V., Radojević, M., & Castells Somoza, B. (2019). Evaluation of spontaneous ignition potential for solid biomass through thermal analysis. Paper presented at the DEMI 2019 - 14th INTERNATIONAL Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka.	M33
Radojević, M., Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2017). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. Paper presented at the International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies (CNN TECH 2017), Zlatibor, Serbia.	M34
Radojević, M., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2018b). Impact of STA device calibration on repeatability for biomass proximate analysis. Paper presented at the Forum on Smart Energy Carriers for Distributed Energy Production: Research and Innovation Technology Perspectives, University of Belgrade, Belgrade, Serbia.	M34
Radojević, M., Stojiljković, D., Jovanović, V., & Manić, N. (2018a). Comparison of experimental methods for characterization of raw biomass as a key factor for sustainable biomass utilization. Paper presented at the Humboldt Kolleg, „Sustainable Development and Climate Change: Connecting Research, Education, Policy and Practice”, Belgrade, Serbia.	M34

Pijović, M., Janković, B., Stojiljković, D., **Radojević, M.**, & Manić, N. (2019). Thermoanalytical characterization of various biomass feedstocks for assessments of light gaseous compounds and solid residues. Paper presented at the International Conference of Experimental and Numerical Investigation and New Technologies (CNN TECH 2019), Zlatibor, Serbia. M34

* According to the criteria of Ministry of Science, Education and Technological Development of the Republic of Serbia

Presented references show that Candidate has mastered experimental methods regarding fuel testing using thermal analysis experimental techniques. Besides, evaluation of obtained data was performed along with estimation and determination of kinetic parameters of thermochemical conversion processes, in order to characterize material as a fuel more precisely and provide the assessment for material utilization pathways for energy production. Research presented in paper that is currently under review for journal Biomass and Bioenergy is dealing with detailed evolved gas analysis during biomass thermochemical conversion using mass spectrometry, where new approach of data analysis is proposed. Thereby Candidate's ability to develop new methodology and to propose new concepts in the research field of his thesis, is proved.

1.4 Evaluation of eligibility of the Candidate to work on the proposed topic

Based on his previous work, Candidate has shown necessary quality, interest, ability and professionalism for scientific and research activities. Published papers in scientific journals and presented in scientific conferences indicate Candidate's potential to deal with both theoretical and complex experimental research.

Taking in consideration that Candidate's previously published papers and research activity are closely related to the scientific field of proposed doctoral thesis, the Committee considers that Candidate has adequate scientific background in the field of research that is related to proposed thesis topic. Based on biography, passed exams on Ph.D. studies, published papers and expressed interest for making progress in science, the Committee concludes that Miloš Radojević fulfills all necessary conditions and that is eligible for conducting successful independent theoretical and experimental research on the proposed doctoral dissertation topic.

2. SUBJECT OF RESEARCH

The proposed doctoral dissertation topic concerns the analysis of different thermochemical conversion processes, such as pyrolysis, gasification and combustion, while using biomass as a fuel, by simultaneous thermal analysis and mass spectrometry. Simultaneous thermal analysis (STA) represents application of thermogravimetric analysis and differential thermal analysis (DTA) or differential scanning calorimetry (DSC) simultaneously on the same sample. Individual application of these methods is well established for coal analysis, or analysis of various chemicals in chemical industry. On the other hand, simultaneous application of these methods, especially while using biomass as tested sample, is rarely researched in the past and it is currently one of the most popular research fields for investigation of possibilities of biomass utilization for energy production. Besides, methods for evolved gas analysis during biomass thermochemical conversion

using mass spectrometry are under intensive development. Fuel and Combustion Laboratory at University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering has equipment for coupled STA-MS analysis which enable development of new methods and analysis paths for fuel characterization. In order to encompass the widest range possible for biomass utilization for energy or biomaterial production, which altogether represents modern concept of biorefinery, experimental tests will encompass analysis of wood and agricultural biomass, along with biodegradable part of municipal solid waste.

3. OBJECTIVES OF THE RESEARCH

The main objective of proposed doctoral dissertation is detailed characterization of biomass as a fuel on fundamental level, which implies identification and analysis of gaseous products from thermal decomposition processes using experimental methods such as simultaneous thermal analysis and mass spectrometry. Considering that STA implies simultaneous application of TGA and DTA/DSC on the same sample, detailed thermochemical conversion process analysis is possible. Besides, using TGA it is possible to estimate and determine kinetic parameters of thermochemical conversion processes, such as activation energy and pre-exponential (frequency) factor, using different methods and models. Also, there is possibility for estimating proximate analysis data in significantly shorter period compared to standard method, if the experiment is conducted in precisely defined conditions (atmosphere, temperature, heating rate). Using TGA, sample is heated up to pre-defined temperature using lower heating rates (1 – 50 (150) °C/min) compared to those that take place in real facilities. That way, it is possible to describe material degradation, or otherwise, to define it structurally. Knowing such details and by precise determination of characteristic temperatures during biomass thermochemical conversion, it is possible to optimize industrial process in further work, where tested fuel shall be used.

On the other hand, mass spectrometry provides experimental data related to biomass devolatilization process. Basically, gaseous compounds that are contained in biomass volatiles can be identified, which later allows defining volatiles composition and forming release profiles for specific gases. Literature review implied that qualitative identification of gases can be significantly improved by detailed analysis of every detected mass to charge ratio (m/z), which can later be related to atomic mass unit (amu). Theoretically, based on applied experimental technique it is possible to quantify identified evolved gases, but due to numerous technical limitations it is not fully possible. Therefore, forming the methodology for semi-quantification of detected evolved gases will be especially challenging and rewarding as final output of this dissertation.

4. BASIC RESEARCH HYPOTHESES

Despite the fact that thermogravimetric analysis has been used for coal analysis during past couple of decades, usage of STA creates new possibilities for more in depth fuel analysis. Biomass, as a renewable energy source (RES) could possibly, along with other RES, partially replace fossil fuels in energy sector. On the other hand, it is extremely diverse considering physicochemical characteristics, especially because of miscellaneous origin. The new database as valuable source of experimental data with characteristics of various biomass is still under development. That means that many researchers intensively work on developing new methods for

biomass characterization and try to obtain as much useful data as possible using various methods, for in detail characterization of biomass as a fuel. Although, there are numerous different methods for fuel characterization, STA is one of the most advanced and it offers comprehensive results, thanks to precise measurements which are conducted using small sample masses (5 – 40 mg) in controlled atmosphere and according to precisely defined temperature program. Besides, STA-MS measurements of biomass samples haven't been extensively studied, which opens space for various achievements in this field of research, as well as obtaining and publishing new results.

Mass spectrometry is a technique that has been present for a few decades, although its use has not been as extensive as thermogravimetry, while it has been limited to application in chemical industry. Coupling those two methods, simultaneous tests are conducted on the same sample, where evolved gas analysis data is directly related to mass change, both temperature and time related. One of the main goals of planned research in this Ph.D. thesis is to use data obtained from MS for fuel characterization, in order to optimize environmental and energy characteristics of biomass thermochemical conversion processes.

After numerous experiments, obtained data will allow establishment of performance characteristics for specific biomass species. Because of limited amount of data in this field of research, new database that shall be formed based on obtained data from STA-MS measurements, will aid adaptation of mathematical models to specific biomass types and thermochemical conversion process and therefore represent significant scientific contribution.

Hereby is presented relevant bibliography which initiated the topic of this research:

- [1] Carpenter, A. M., & Skorupska, N. M. (1993). Coal combustion: analysis and testing (Vol. 1). London, UK: IEA Coal Research
- [2] Skreiberg, A., Skreiberg, Ø., Sandquist, J., & Sørum, L. (2011). TGA and macro-TGA characterisation of biomass fuels and fuel mixtures. *Fuel*, 90(6), 2182-2197. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.02.012>
- [3] Bridgwater, A. V. (2013). *Advances in thermochemical biomass conversion*: Springer Science & Business Media.
- [4] Apaydin-Varol, E., Polat, S., & Putun, A. (2014). Pyrolysis kinetics and thermal decomposition behavior of polycarbonate - a TGA-FTIR study. *Thermal Science*, 18, 833-842. doi:10.2298/TSCI1403833A
- [5] Deb, P. (2014). *Kinetics of heterogeneous solid state processes*: Springer, New Delhi.
- [6] Burnham, A. K. (2017). *Global Chemical Kinetics of Fossil Fuels*: Springer International Publishing.
- [7] Vyazovkin, S., & Wight, C. A. (1998). Isothermal and non-isothermal kinetics of thermally stimulated reactions of solids. *International Reviews in Physical Chemistry*, 17(3), 407-433. doi:10.1080/014423598230108
- [8] Vyazovkin, S., Burnham, A. K., Favregeon, L., Koga, N., Moukhina, E., Pérez-Maqueda, L. A., & Sbirrazzuoli, N. (2020). ICTAC Kinetics Committee recommendations for analysis of multi-step kinetics. *Thermochimica Acta*, 689, 178597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tca.2020.178597>

- [9] Radojević, M., Balać, M., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Thermogravimetric kinetic study of solid recovered fuels pyrolysis. *Hemijska Industrija*, 72(2), 8. doi:10.2298/HEMIND171009002R
- [10] Radojević, M., Janković, B., Jovanović, V., Stojiljković, D., & Manić, N. (2018). Comparative pyrolysis kinetics of various biomasses based on model-free and DAEM approaches improved with numerical optimization procedure. *PLOS ONE*, 13(10). doi:10.1371/journal.pone.0206657
- [11] de Hoffmann, E., & Stroobant, V. (2007). *Mass spectrometry: principles and applications* (3 ed.). Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons Ltd.
- [12] Greaves, J., & Roboz, J. (2013). *Mass spectrometry for the novice*: CRC Press.
- [13] Gross, J. H. (2017). *Mass Spectrometry: A Textbook* (3 ed.): Springer International Publishing.
- [14] Thompson, J. M. (2018). *Mass Spectrometry*: New York: Jenny Stanford Publishing.
- [15] Smoluch, M., Grasso, G., Suder, P., & Silberring, J. (2019). *Mass Spectrometry: An Applied Approach*: John Wiley & Sons.
- [16] Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., & Saxioni, S. (2015). Evaluation of urban wastes as promising co-fuels for energy production – A TG/MS study. *Fuel*, 147, 170-183. doi:https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.01.070
- [17] Vamvuka, D., Sfakiotakis, S., Pazara, E., & Panopoulos, K. (2016). Kinetic modeling of five sustainable energy crops as potential sources of bioenergy. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(12), 1812-1818. doi:10.1080/15567036.2014.1002949
- [18] Salema, A. A., Ting, R. M. W., & Shang, Y. K. (2019). Pyrolysis of blend (oil palm biomass and sawdust) biomass using TG-MS. *Bioresource Technology*, 274, 439-446. doi:https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.014

Literature [1] sums up experimental methods for coal analysis as solid fuel, which includes thermal analysis. Basic experimental principles and presented methodology were the base for further development of biomass experimental procedures. Methodology expansion came along with [2] and papers from proceedings [3], which initiated the beginning of kinetic analysis research of biomass thermal degradation. Paper [4] sums up frequently used methods for estimation and determination of kinetic parameters of biomass thermochemical conversion processes, while they are expanded in [5] and [6]. Authors from [7] and [8] have worked on development of their own methodology, which influenced the adaptation of present experimental procedures and kinetic analysis methods for biomass analysis in Fuel and Combustion Laboratory. Papers [9] and [10] were published based on adopted methodology. After adaptation of simultaneous thermal analysis experimental methods, focus was expanded to mass spectrometry. Key information at the beginning of research was derived from [11-15], where mass spectrometry is described and analyzed in detail, as well as principles of operation of mass spectrometer and other systems within it. Papers [16-18] deal with mass spectrometry data analysis, but not in the extent required for the research of this doctoral thesis. Therefore, an opportunity for methodology expansion and proposal of new approach for analysis of data obtained from mass spectrometer, was observed.

5. SCIENTIFIC RESEARCH METHODS

Experimental equipment that will be used in this research is simultaneous thermal analyzer from Netzsch manufacturer, STA449F5 Jupiter®, coupled to quadrupole mass spectrometer QMS403D Aëolos, from the same manufacturer, using 76 µm quartz capillary. Silicon carbide furnace that is the heart of the STA can heat the sample using heating rate from 0,001 up to 50 °C/min, while maximum temperature that can be reached is 1600 °C. Two different crucible types will be used, depending on the measurement type, whether it is TG-DTA (thermogravimetric analysis and differential thermal analysis) or TG-DSC (thermogravimetric analysis and differential scanning calorimetry), both made of alumina (Al₂O₃). Experimental atmosphere will be adapted to measurement needs – from inert to completely oxidizing, using different carrier gases (nitrogen, oxygen, sintetic air, argon...).

Mass spectrometer can scan masses in the range from 0 – 300 amu. Although, in this research, highest scanned mass will be 100 amu because all relevant gaseous components fit into that range and because higher masses represent atomic ions and fragments of organic compounds which are not contained in tested samples in significant extent. Mass spectrometric measurements are of MID and Bargraph type. Quartz capillary that is used for TG-MS coupling is placed inside heated pipe which is heated at 270 °C in order to prevent condensation of gases that are released during the measurement and then introduced into the MS. Obtained results will be evaluated using Proteus® software which is developed by the manufacturer, but also by own programs developed in Fuel and Combustion Laboratory.

6. EXPECTED RESULTS AND SCIENTIFIC CONTRIBUTION

- Development of new laboratory method for biomass analysis using STA. New method will include adaptation of instrument parameters to this specific measurement type which will result in obtaining precise results (it will be developed in collaboration with the manufacturer);
- Adaptation of present kinetic models for determination of kinetic parameters of biomass thermochemical conversion;
- Forming the methodology for a comprehensive evolved gas analysis during biomass thermochemical conversion using mass spectrometry – identification and semi-quantification of released gases.

7. RESEARCH STRUCTURE AND PLANNING

Research plan within this doctoral dissertation is consisted of following phases:

- Review and analysis of scientific papers from the referent field of research;
- Review and systematization of current research state in the field of STA-MS analysis;
- Analysis of STA systems and optimization of current instrument properties specifically for biomass analysis;
- Analysis of MS systems and optimization of current instrument properties specifically for biomass analysis;
- Determination of kinetic parameters of biomass thermochemical conversion for detailed fuel characterization, based on data obtained by STA, as well as thermal effects related to DSC;
- Model development for semi-quantification of released gases using MS

8. CONCLUSIONS AND PROPOSAL

Based on the analysis of the topic of doctoral dissertation proposed by the Candidate, its objectives and potential scientific contribution, and considering all the relevant information on the Candidate, Miloš Radojević, Ph.D. student of University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, the Committee finds the topic to be scientifically sound and the Candidate to be eligible to conduct the research on the proposed topic. Therefore, the Committee proposes to the Council for Doctoral Studies to approve the work on the doctoral dissertation titled:

Qualitative identification of gaseous products during biomass thermochemical conversion processes using simultaneous thermal analysis and mass spectrometry

The academic discipline of the proposed doctoral dissertation topic is Mechanical Engineering. The sub-discipline is Engineering Materials – Fuel and Combustion.

Furthermore, the Committee proposes associate professor Dr. Nebojša Manić and senior research associate Dr. Bojan Janković to be mentors of the doctoral dissertation.

Београд, 22.06.2020.

THE COMMITTEE MEMBERS

Full Professor Dr. Dragoslava Stojiljković, University of
Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering

Assistant Professor Dr. Vladimir Jovanović, University of
Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering

Full Professor Dr. Ljiljana Medić Pejić, Polytechnic University
of Madrid (UPM), Department for Energy and Fuels,
Madrid, Spain

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 624/3
Датум: 04.06.2020.
Београд, Краљице Марије бр.16

На основу члана 64. Статута Машинског факултета Универзитета у Београду број 1450/4 од 14.06.2018. године и члана 20. а сагласно члану 29. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду од 24.05.2016.г., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 04.06.2020. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Именују се др Небојша Манић, ванр. проф. и др Бојан Јанковић, виши научни сарадник, ИНН Винча за менторе докторске дисертације „КВАЛИТАТИВНА ИДЕНТИФИКАЦИЈА ГАСОВИТИХ ПРОДУКАТА ТЕРМОХЕМИЈСКЕ КОНВЕРЗИЈЕ БИОМАСЕ ПРИМЕНОМ СИМУЛТАНЕ ТЕРМАЛНЕ АНАЛИЗЕ И МАСЕНЕ СПЕКТРОМЕТРИЈЕ“ кандидата Милоша Радојевића, MSc., студента докторских студија.

Одлуку доставити: ментору, докторанту и архиви.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић